溶磷菌在玉米生產應用

張耀聰[1*]、張廖伯勳[2]、王瓊慧[3]

摘要

本研究目的在針對市售2種溶磷菌，對玉米肥效及整合性施肥應用進行評估。肥效試驗方面：玉米含苞葉穗重及單軸穗重，分別以½施肥量＋滅菌液處理及½施肥量＋菌液處理，顯著高於全量肥料推薦用量處理，在可溶性固形物 (°Brix) 之表現，各處理間無顯著差異。在整合性施肥應用方面：春作於酸性土壤之試驗結果顯示，不施有機肥處理方面，僅單軸穗重½肥料推薦用量＋菌粉處理，顯著優於全量肥料推薦用量處理。在基肥施用稻殼灰炭方面，½肥料推薦用量＋菌粉及菌液2個處理，在含苞葉穗重及單軸穗重，均顯著優於全量肥料推薦用量處理。在秋裡作於鹼性土壤之試驗結果顯示，含苞葉穗重及單軸穗重，均以⅔肥料+菌液及全量肥料+菌粉2項處理，顯著優於對照組。而在可溶性固形物之表現，2期作各處理間，均無顯著優於對照組。

關鍵詞： 玉米、溶磷菌、生產。

前言

臺灣為農業密集發展之島國，農業發展多數均以小農為主，且在化學肥料普及使用後，長期以來農民過度倚賴化學肥料，使得化學肥料用量居高不下，且用

---

* 通訊作者：ytc@mail.kdais.gov.tw
1 高雄區農業改良場副研究員。台灣屏東。
2 高雄區農業改良場助理研究員。台灣屏東。
3 高雄區農業改良場計畫助理。台灣屏東。

肥習慣不易改變已根深蒂固。在化學肥料中，單質肥料三要素之中，以磷肥 (過磷酸鈣) 銷售單價最為便宜，其具有促進作物開花及誘導幼苗根系發育等功用。因此農民為提升作物產量與品質，普遍施用過磷酸鈣等磷肥，提升土壤磷有效性，儼然已成為田間的慣行措施。然而，施入土壤中的磷可能被黏土礦物、有機質、碳酸鈣和鐵鋁氧化物等物質吸附或沉澱，也可能被微生物攝食吸收而固定，這些可能的固定作用會降低土壤磷的有效性，部份吸附和沉澱反應，所造成的磷固定現象，更可能因時間長遠而不再釋出 (Jalali & Ranjbar 2010)。故土壤經長期或大量施用磷肥，會造成磷在土壤表層的累積 (Beauchemin & Simard 2000)，不但土壤總磷量增加，因逕流 (runoff) 造成磷損失移至地表水的量也會升高 (Cox & Hendricks 2000；Davis *et al.* 2005)，進而大幅增加對水質與環境生態的衝擊。

近年來在農委會積極推動友善環境農業資材補助下，自 106 年起逐漸減少對化學肥料補助，而轉向農民選購微生物肥料進行補助，其中市售產品以溶磷菌肥料最為普遍，主因為磷肥易受土壤環境影響，致使作物無法有效利用，因此國內相關產品販售，均以溶磷菌為主。但也因臺灣位處熱帶與亞熱帶交界，不同氣候條件下，土壤性質及土壤固有微生物相影響極劇，無法保證其田間應用具有穩定的肥 (功) 效，致使推動成效受限。且微生物肥料儲架壽命時間比化學肥料短，易受環境高溫影響而變質，常需冷藏以維持其菌種活性。且多數均以提升土壤肥力為主，然而當土壤肥力失衡情況下，微生物肥料未必能表現出其功效，因此微生物肥料配合整合性施肥管理，即成為政策推動發展之關鍵。

玉米 (*Zea mays*) 為一年生禾本科草本植物，原產於中美洲，是全世界總產量最高的重要糧食作物。哥倫布於 1492 年將玉米帶到西班牙後，在 16 世紀即經由海上及陸上途徑，傳播到全世界。16 世紀初期傳入中國，18 世紀傳入臺灣 (黃惠琳 2016)。二百多年前《臺灣府誌》即有記載「番麥狀如黍，實如石榴子，一葉一穗，穗各數百粒」，可知玉米在臺灣栽培年代久遠 (黃惠琳 2016)。玉米亦可當作飼料使用，還有在生物科技產業作為乙醇燃料的原材料。而且玉米更在各個化工領域被大量利用著，做成塑膠等不同的物品。玉米亦為臺灣最大宗之雜糧作物，依據農糧署 106 年統計年報資料顯 (行政院農委會農糧署 2018)，每年約有 3 萬公頃上下之栽培面積，主要分為飼料 (硬質) 玉米及食用玉米兩大類，其中食用玉米

栽培約有 15,215 公頃，產量約 11 萬公噸，為相當重要之雜糧作物。而本研究即以 2 種市售溶磷菌在不同土壤條件下進行田間試驗，以瞭解其在玉米生育之表現，提供農耕工作者實際田間應用參考。

材料與方法

本研究以 2 種市售溶磷菌進行食用玉米肥效評估及整合性施肥應用。實施方法分為 2 個部分如下說明。

一、肥效應用評估：此部分試驗測試 2 種市售溶磷菌肥之肥效結果，在玉米生產上之表現。

1. 作物品種選擇：玉米 (夏強F1品種) 先行播種穴盤中，經培育10天後定植於試驗田區，並以單畦單行方式種植，每25 cm定植1株。
2. 測試菌種選擇：2種市售溶磷菌劑，分別為菌粉 (萬磷丹) 及菌液 (博士肥溶磷菌) 。
3. 施肥評估試驗處理： (1) 推薦施肥量全量。 (2) ½推薦施肥量。 (3) ½推薦施肥量+菌粉。 (4) ½推薦施肥量+菌液。 (5) ½推薦施肥量+高溫滅菌菌粉。 (6) ½推薦施肥量+高溫滅菌菌液。 (7) 完全不施肥。 (8) 完全不施肥+高溫滅菌菌粉。 (9) 完全不施肥+高溫滅菌菌液。
4. 每處理各4重複，每重複數之栽種面積為30 m^2，試驗面積為9處理*4重複*30 m^2 ＝1080 m^2。採RCBD試驗設計處理，溶磷菌澆灌分為定植後1天、15天、30天及45天共四次。
5. 推薦施肥量全量為每30 m^2施用硫酸銨2.38 kg 過磷酸鈣1.39 kg 氯化鉀0.28 kg。
6. 調查處理：收穫時統計其產量等性狀。
7. 土壤分析：試驗前後均進行土壤採樣分析，以瞭解土壤肥力變化情況。

二、整合性施肥應用：此部分分為春作及秋裡作進行試驗。

1. 春作及秋作品種選擇：春作及秋裡作玉米品種分別為夏強F1及雪珍F1品種，依上述方式先行穴盤育苗後，再定植於試驗田區，定植行間距如前述。

2. 土壤分析：試驗前後土壤肥力分析。
3. 施肥處理：依據土壤肥力分析結果，進行微生物肥料、有機質肥料及化學施肥推薦，溶磷菌澆灌方式則依據商品推薦倍數稀釋使用，分為定植當天及之後15天、30天、45天共四次，另以慣行農法施肥量作為對照組， (1) 春作施肥方法，以農民慣行施肥量作為全量肥料推薦用量，施肥方法為基肥時期，使用台肥硝磷基黑旺特1號有機質複合肥料 (N-P_2O_5-K_2O-OM：20-5-10-60) 60 kg/0.1 ha及過磷酸鈣20 kg/0.1 ha，定植20天後追肥，施用台肥硝磷基黑旺特1號有機質複合肥料15kg/0.1ha。 (2) 秋裡作施肥方法，先施用農糧署推薦國產雜項堆肥 (肥料品目：5-11) 1250 kg/0.1 ha，再以農民慣行施肥量作為全量肥料用量，總施肥量為尿素40 kg/0.1ha、過磷酸鈣40 kg/0.1ha及氯化鉀10 kg/0.1 ha，施肥量為基肥及追肥時期各50%，追肥為定植後15天施用。
4. 調查處理：於收穫時統計其產量及品質。

結果

一、肥效應用評估

試驗階段於 107 年春作期間進行，食用玉米品種選擇為夏強，種子播種於穴盤中 10 天後，再定植至試驗田區，並於試驗前後進行土壤肥力分析檢測，以了解土壤肥力變化情形，分析數據如表 1 所示。另依據試驗方法將化學肥料分 2 次進行田間施用，基肥先行施用 50%肥料量後培土作畦，並將穴盤培育之玉米幼苗進行定植，此後 20 天進行另 50%之追肥施用。玉米定植 60 天後，進行收穫調查及試驗後土壤採樣肥力分析，以了解定植後肥力變化情形，由表 1 結果可知，經玉米定植 60 天後，各處理間之土壤 pH 變化均比試驗前土壤降低，且各處理土壤中 EC 值均比試驗前土壤升高。

玉米經定植 60 天後，進行收穫產量調查，農藝性狀調查，量測收穫時之含苞葉穗重及單軸穗重與測定玉米可溶性固形物，以評估各種不同處理對玉米產量及品質影響。並由表 2 調查統計結果可知，在含苞葉穗重方面，則以½肥料推薦用量+滅菌菌液處理顯著優於全量肥料推薦用量，並且為各處理中具有最佳之表現。而單軸穗重方面評估，以½肥料推薦用量+菌液處理有最佳之表現，顯著優於處理 1、

2、4、7、8及9，顯示使用溶磷菌液在½肥料推薦用量下，即可有好的表現，對此證明該菌液具有促進玉米收穫產量之功效。但另一方面，使用½肥料推薦用量+菌粉之處理，則顯示出最差之單軸穗重表現。而在可溶性固形物方面，雖然以不施肥處理有最佳之°Brix，但與其他處理間並不顯著。

表 1. 夏強玉米接種溶磷菌肥效應用試驗前後土壤肥力變化情形.

處理	pH (1:1)	OM (%)	P_1	K_{av}	Ca_{ex}	Mg_{ex}	Fe_{ex}	Mn_{ex}	Cu_{ex}	Zn_{ex}	Na_{ex}	E.C (1:5; μS/cm)
			mg/kg									
玉米未整地試驗前土壤肥力(1070124 採樣)												
表土	6.25	1.20	37	44	1141	96	250	39	5.4	4.5	18	0.13
玉米試驗採收後土壤肥力分析(1070525 採樣)												
1	4.44	1.37	75	125	1533	158	304	100	6.2	6.2	66	0.75
2	4.58	1.50	72	97	1789	253	295	114	5.9	6.0	101	1.07
3	4.52	1.52	79	123	2135	281	333	115	5.9	6.5	110	1.19
4	4.56	1.53	68	129	1820	176	284	78	6.0	6.1	70	0.67
5	4.67	1.33	92	57	1823	138	352	88	6.4	6.4	57	0.51
6	4.75	1.37	61	49	1372	95	326	54	6.5	6.5	51	0.24
7	5.08	1.40	39	93	1707	169	275	59	6.4	6.6	81	0.54
8	5.20	1.54	40	100	2057	360	281	94	6.4	6.2	120	0.61
9	5.86	1.53	37	64	2226	297	299	75	6.2	6.2	97	0.73

註：O.M: organic matter; P_1=Bray No.1; K_{av}=available K; Ca_{ex}, Mg_{ex}, Fe_{ex}, Mn_{ex}, Cu_{ex}, Zn_{ex} and Na_{ex}=HCl extractable 試驗田處理：1.推薦施肥量全量。2. ½推薦施肥量。3. ½推薦施肥量+菌粉。4. 1/2 推薦施肥量+菌液。5. 1/2 推薦施肥量+高溫滅菌之菌粉。6. ½推薦施肥量+高溫滅菌之菌液。7. 完全不施肥。8. 完全不施肥+高溫滅菌之菌粉。9.完全不施肥+高溫滅菌之菌液。

表 2. 夏強玉米接種溶磷菌施肥變級處理收穫調查評估 (n=40)

處理	含苞葉穗重(g)	單軸穗重(g) mean±SE	可溶性固形物(°Brix)
1. 全量肥料推薦用量	253.39±7.19bc[1]	204.31±5.75bc	10.45 ± 0.55a
2. ½肥料推薦用量	214.57±10.47e	180.99±9.69de	11.30 ± 0.56a
3. ½肥料推薦用量+菌液	263.04±4.98ab	220.58±4.29a	11.33 ± 1.59a
4. ½肥料推薦用量+菌粉	217.58±10.31de	172.74±8.89e	12.10 ± 0.31a
5. ½肥料推薦用量+滅菌菌液	275.75±6.09a	217.43±4.60ab	11.83 ± 0.61a
6. ½肥料推薦用量+滅菌菌粉	262.55±7.09ab	214.66±4.24ab	12.20 ± 0.37a
7. 不施肥	236.42±8.80cd	194.85±8.57cd	13.33 ± 0.51a
8. 不施肥+滅菌菌液	249.82±8.95bc	194.43±7.08cd	12.60 ± 0.90a
9. 不施肥+滅菌菌粉	251.49±5.59bc	200.41±5.80bc	13.10 ± 0.54a

註：[1] 同行中小寫英文字母不同者代表差異顯著 ($p \leq 0.05$) 。

二、整合性施肥應用

(一)春作整合性施肥應用

春作玉米整合性施肥評估，於 107 年 3 月進行，玉米品種選擇為夏強玉米，試驗前仍先進行試驗前土壤肥力測試，及測試試驗結束後之土壤肥力變化情形，其結果如表 3 所示。試驗前土壤 pH 為 5.47 屬於酸性土壤，除有機質含量＞2 以外，其它肥力均屬於常態範圍，因此將試驗分為 7 種不同化學肥料及接種處理別，分別為：1.全量肥料用量；2. ½肥料用量；3. ½肥料用量+菌液；4. ½肥料用量+菌粉；5. 不施肥；6. 不施肥+菌液；7. 不施肥+菌粉。並且在基肥階段又分為不施用有機肥及施用稻殼灰炭 (1ton/0.1ha)，共 2 種基肥處理，以每個組合處理，各 4 個重複小區，每小區定植玉米 20 株，並以基肥階段不施有機質肥料及使用全量肥料推薦用量，作為農民慣行處理組別，並於育苗植株定植田間 60 天後，進行玉米採收產

表 3. 玉米春作整合性施肥試驗前後土壤肥力分析

處理 (表土)	pH (1:1)	OM (%)	P_1	K_{av}	Ca_{ex}	Mg_{ex}	Fe_{ex}	Mn_{ex}	Cu_{ex}	Zn_{ex}	Na_{ex}	E.C (1:5; μS/cm)
			---------- mg/kg ----------									
玉米試驗前土壤肥力(1070301 採樣)												
表土	5.47	1.77	94	245	1535	130	392	108	4.9	4.9	28	0.69
試驗採收後各處理間表土肥力變化 (1.不施有機肥)												
1	3.55	1.61	61	50	1291	84	323	56	4.2	4.6	22	0.51
2	5.06	1.68	58	30	1825	99	313	33	4.5	5.9	25	1.22
3	3.51	1.61	64	64	1636	144	352	90	4.3	5.7	15	0.24
4	4.91	1.46	60	30	1510	65	314	25	4.5	4.5	30	0.57
5	4.29	1.60	64	32	1352	138	308	50	4.4	5.2	22	0.27
6	4.63	1.26	53	23	1195	69	291	32	4.5	4.2	27	0.60
7	5.05	1.34	59	26	1658	123	322	29	4.5	4.4	16	0.66
試驗採收後各處理間表土肥力變化 (2.基肥施用稻殼灰炭 1ton/0.1ha)												
1	3.99	1.68	109	189	1146	65	341	65	4.3	4.5	9.8	0.69
2	4.60	1.45	92	104	1417	62	322	44	4.6	4.7	8.5	0.32
3	4.58	1.68	122	188	2113	227	368	75	4.6	4.7	84	1.21
4	3.77	1.65	98	182	1141	78	367	45	4.5	3.7	17	0.75
5	5.75	1.52	107	89	1218	136	339	53	4.6	5.1	65	0.59
6	6.30	1.53	123	92	2196	223	339	53	4.8	6.3	30	0.93
7	6.04	1.18	101	43	1372	129	291	49	4.8	7.2	24	0.32

註：O.M: organic matter; P_1=Bray No.1; K_{av}=available K; Ca_{ex}, Mg_{ex}, Fe_{ex}, Mn_{ex}, Cu_{ex}, Zn_{ex} and Na_{ex}=HCl extractable 處理別： 1.全量肥料推薦用量；2. ½肥料推薦用量；3. ½肥料推薦用量+菌液；4. ½肥料推薦用量+菌粉；5. 不施肥；6. 不施肥+菌液；7. 不施肥+菌粉。

量調查及試驗後土壤肥力分析。而由表 3 結果顯示，不施有機肥之 7 個處理別中，土壤 pH 均比試驗前低，另外在基肥施用稻殼灰炭接種溶磷菌 (菌液及菌粉) 不施肥處理，其 pH 反而有上升跡象，且在 P 及 K 方面，基肥施用稻殼灰炭於試驗後土壤分析，可看出均比不施有機肥處理者含量更高。

玉米春作整合性施肥評估，經穴盤苗定植 60 天後進行收穫調查，測定各處理間之收穫產量，調查項目為含苞葉穗重及單軸穗重兩項，其結果如表 4 所示。由表 4 結果可知，經在含苞葉穗重及單軸穗重方面調查，在不施有機質肥料處理方面，表現以不施肥+菌液、½肥料用量+菌粉及不施肥+菌粉有較佳之表現，但對於農民慣行施肥處理 (全量肥料用量) ，則差異不顯著。而在基肥施用稻殼灰炭處理方面，含苞葉穗重則以½肥料用量+菌液及½肥料用量+菌粉之處理顯著優於對照組，且亦為 14 個處理中表現最佳之前 2 個處理。在單軸穗重表現方面，各處理間仍以½肥料用量+菌液及½肥料用量+菌粉表現較佳，所有處理中以½肥料用量+菌液表現最好。

另外在品質方面，測定玉米可溶性固形物進行評估，此方面之表現，結果由表 5 可知，在不施有機肥之處理，以½肥料推薦用量+菌粉之表現，顯著優於不施肥+菌液之處理，另外在基肥施用稻殼灰炭之處理方面，則以½肥料推薦用量+菌粉及不施肥等 2 個處理，顯著優於不施肥+菌液之處理，但與對照組間並無顯著差異。

表 4. 春作食用玉米整合性施肥不同施肥處理收穫產量評估 (n=40)

處理別	含苞葉穗重(g) mean±SE		單軸穗重(g) mean±SE	
	不施有機肥	基肥施用稻殼灰炭	不施有機肥	基肥施用稻殼灰炭
1	216.29 ± 8.96ab[1]	227.82 ± 10.72bc	174.97 ± 8.34b	165.30 ± 12.80bc
2	182.34 ± 13.47bc	216.68 ± 12.23c	150.77 ± 11.97c	173.37 ± 10.60b
3	203.18 ± 8.82b	259.04 ± 9.67 a	173.83 ± 7.72b	198.61 ± 6.13a
4	231.85 ± 5.21a	257.39 ± 9.47a	188.86 ± 5.35a	190.99 ± 6.67a
5	183.53 ± 8.63bc	215.51 ± 10.75c	127.81 ± 10.36d	162.79 ± 9.65bc
6	229.01 ± 4.84 a	197.21 ± 10.84cd	177.66 ± 5.49b	184.14 ± 9.25ab
7	233.32 ± 12.50a	238.36 ± 5.89 b	185.92 ± 9.57ab	179.85 ± 8.19ab

註：[1] 同行中小寫英文字母不同者代表差異顯著 ($p \leqq 0.05$)。處理別：1 全量肥料推薦用量 (對照組)；2 ½肥料推薦用量；3 ½肥料推薦用量+菌液；4 ½肥料推薦用量+菌粉；5 不施肥；6 不施肥+菌液；7 不施肥+菌粉

(二)秋裡作食用玉米整合性施肥應用

秋裡作食用玉米整合性施肥應用，於 107 年 10 月進行，食用玉米品種選擇為雪珍 F1 玉米，試驗前仍先進行試驗前土壤肥力測試，及測試試驗結束後之土壤肥力變化情形，其結果如表 6 所示。試驗前土壤 pH 為 7.58 屬於弱鹼性土壤，K 及 Ca 含量偏高，其它肥力均屬於常態範圍，因此亦將試驗分為 7 種不同化學肥料及接種處理別，分別為：1.全量肥料用量 (對照組)；2.全量肥料+菌液；3.全量肥料+菌粉 ；4. ½肥料+菌液；5. ½肥料+菌粉；6. ⅔肥料+菌液；7. ⅔肥料+菌粉。由表 5 土壤分析結果可知，試驗前後土壤肥力方面，Ca 及 Mg 於試驗後，明顯降低，但在 Fe、Mn、Cu、Zn 及 Na 比試驗前提升。

表 5. 春作食用玉米整合性施肥不同處理間可溶性固形物差異比較 (n=40)

處理別	可溶性固形物 (°Brix) mean±SE	
	不施有機肥	基肥施用稻殼灰炭
1. 全量肥料推薦用量 (對照組)	12.00 ± 0.70ab[1]	11.57 ± 1.04ab
2. ½肥料推薦用量	11.53 ± 0.84ab	11.77 ± 0.48ab
3. ½肥料推薦用量+菌液	13.00 ± 0.25ab	12.53 ± 0.64ab
4. ½肥料推薦用量+菌粉	13.80 ± 0.57a	13.57 ± 0.79a
5. 不施肥	13.47 ± 1.84ab	13.43 ± 1.00a
6. 不施肥+菌液	11.10 ± 0.53b	10.63 ± 0.44b
7. 不施肥+菌粉	13.03 ± 0.37ab	11.77 ± 0.26ab

註：[1] 同行中小寫英文字母不同者代表差異顯著 ($p \leq 0.05$)。

表 6. 秋裡作食用玉米整合性施肥試驗前後土壤肥力分析

處理	pH (1:1)	OM (%)	P_1	K_{av}	Ca_{ex}	Mg_{ex}	Fe_{ex}	Mn_{ex}	Cu_{ex}	Zn_{ex}	Na_{ex}	E.C (1:5; μS/cm)
			-----	-----	-----	-----	mg/kg	-----	-----	-----		
玉米試驗定植前田間表土肥力(1071011)												
表土	7.58	2.70	114	277	5130	337	185	164	14.4	22.5	24	0.30
試驗後各處理田間表土肥力變化(1071214)												
1	7.48	2.75	102	160	3825	177	275	285	25.5	46.5	81	0.21
2	7.42	2.66	115	205	3501	160	303	287	24.8	38.5	84	0.20
3	7.56	2.31	101	213	3640	141	302	281	28.8	30.8	69	0.28
4	7.63	2.53	105	171	3504	157	313	330	26.3	43.3	80	0.18
5	7.69	2.63	124	127	3624	160	289	301	24.3	38.8	74	0.16
6	7.55	2.54	98	165	3971	176	278	290	24.3	40.5	86	0.19
7	7.35	2.34	121	288	3351	154	268	281	32.8	30.5	101	0.29

註：O.M: organic matter; P_1=Bray No.1; K_{av}=available K; Ca_{ex}, Mg_{ex}, Fe_{ex}, Mn_{ex}, Cu_{ex}, Zn_{ex} and Na_{ex}=HCl extractable 處理別：1.對照組 ；2.全量肥料+菌液 ；3.全量肥料+菌粉 ；4. ½肥料+菌液；5. ½肥料+菌粉；6. ⅔肥料+菌液；7. ⅔肥料+菌粉。

秋裡作食用玉米整合性施肥應用，經穴盤苗定植 60 天後進行收穫調查，測定各處理間之收穫產量，調查項目為含苞葉穗重及單軸穗重兩項，其結果由表 7 可知，經在含苞葉穗重方面調查，以⅔肥料+菌液及全量肥料+菌粉兩個處理有最佳之表現，顯著優於全量肥料用量 (對照組) 之處理。在單軸穗重表現方面，仍以⅔肥料+菌液有最佳之表現，而所有處理中，亦以⅔肥料+菌液及全量肥料+菌粉兩個處理，顯著優於全量肥料用量 (對照組) 之處理。但在品質方面，各處理間可溶性固形物並無顯著差異。

討論

一、肥效應用評估

此試驗田區前期作為休耕田區，雜草相豐富，經由試驗前翻耕整地，使土壤中有機質含量提升。但也因有機質含量提升，當其分解後產生酸類物質 (如 H_2SO_4、HNO_3 等等)，能溶解礦物質或分解礦物質，使其釋放出許多鹽基離子，可提供作物利用 (郭魁士 1997)，因此試驗後土壤鹽基離子濃度明顯提升。此外，收穫階段(5 月中旬)，南部地區氣溫已偏高，當土壤溫度達 30℃左右，土壤中的硝化細菌將開始活躍，有利於有機物的分解，因而使土壤中氮素釋出 (古明萱 2007)，加上此次試驗，化學肥料氮素來源選擇硫酸銨，易溶於水產生 NH_4^+及 SO_4^{2-}，而硫酸銨之 NH_4^+可經作物吸收或進行硝化作用，若被植物吸收，則會釋放 1 個 H^+，此即表示，在土壤中來自硫酸銨的 1 個 N 直接產生½個 H_2SO_4，若進行硝化作用，可

表 7. 秋裡作食用玉米整合性施肥接種溶磷菌肥料變級處理收穫調查評估 (n=40)

處理	含苞葉穗重(g)	單軸穗重(g)	可溶性固形物 (°Brix)
	mean±SE		
1. 全量肥料用量 (對照組)	268.30±17.29bc[1]	232.39±15.93 cd	11.05 ± 0.44 a
2. 全量肥料+菌液	254.38±20.45 c	225.12±20.20 d	11.03 ± 0.28 a
3. 全量肥料+菌粉	299.11±13.76 a	263.17±13.22 ab	11.13 ± 0.29 a
4. ½肥料+菌液	259.02±17.29 c	223.68±16.35 d	11.40 ± 0.24 a
5. ½肥料+菌粉	288.63±16.89 ab	256.31±14.66 bc	11.65 ± 0.34 a
6. ⅔肥料+菌液	310.59± 7.47 a	273.22± 8.28 a	11.58 ± 0.21 a
7. ⅔肥料+菌粉	267.28±13.80bc	237.42±13.64cd	11.23 ± 0.54 a

註：[1] 同行中小寫英文字母不同者代表差異顯著 ($p \leq 0.05$)。

產生 2 個 H^+，但作物以 NO_3^+吸收時，會釋放的 1 個 OH^-中和，因此又會產生 1 個 H^+ (Reuss & Johnson 1986)，此舉也是造成試驗後土壤酸化之主因。

產量及品質調查，含苞葉穗重部分，½肥料推薦用量+滅菌菌液、½肥料推薦用量+滅菌菌粉及½肥料推薦用量+菌液，比對照組全量肥料推薦用量處理有較佳之表現，但僅½肥料推薦用量+滅菌菌液與對照組間具顯著差異，再由表 1 試驗後土壤進行比對，該處理土壤 P 含量比起其他各個處理間，亦有較高之含量。另外由含苞葉穗重及單軸穗重方面進行比較，若玉米不施肥及施用½肥料推薦用量情況下，施用滅菌之菌液及菌粉處理，含苞葉穗重均比不施肥及½肥料推薦用量處理者有些許優勢，主要為菌液及菌粉基質本身能提供作物少量養分，其中以菌粉基質養分含量，由產品標示顯示比菌液還高，但在此方面½肥料推薦用量+菌液與½肥料推薦用量+菌粉之處理間即有顯著差異，且在本次酸性土壤試驗中，½肥料推薦用量+菌液在含苞葉穗重及單軸穗重均顯著高於全量肥料推薦用量，顯示在酸性土壤中玉米接種本次試驗之溶磷菌液，即可達到良好之產能收益。但在可溶性固形物方面，各處理間均無顯著差異。

P 是植物生長發育必須的大量元素，是核酸、植素和卵磷脂的組成成分，在能量、糖分代謝、酶促反應和光合作用等過程中起著重要作用，李銀水等人 (2011)，亦在種植油菜土壤增施 P 肥用量的試驗中，也再次印證土壤中增加 P 含量，可提升作物產能。

二、整合性施肥應用

春作整合性施肥應用，亦選擇酸性土壤進行試驗，在不施基肥之各處理，試驗後土壤均比試前土酸化，主要如前揭酸化原因所述，此外春作試驗玉米栽種過程，畦面均敷蓋黑色塑膠布防治雜草，致使土壤溫度升高，此舉使硝化作用反應加速，造成土壤酸化，且土壤 P 含量均明顯低於試驗前土壤，此部分主要原因為酸性環境下磷易於被鐵鋁氧化物固定，在早期的研究報告已顯示 (Ryan *et al.* 1985)，鐵鋁氧化物對磷的吸附速率快，是磷被固定的主因。而在基肥階段施用稻殼灰炭之各處理，僅在不施化肥的 3 個處理，土壤 pH 有些許提升，其他施用化肥的各處理，土壤亦如上述結果，均呈現酸化。由於稻殼灰炭為 700℃ 以上高溫燒製

之鹼性材料(pH 10.45)，因此在不施用化肥情況下，仍維持土壤 pH 值而不酸化。由於生物材料隨熱解溫度提升 pH 值也隨之增加，主要的原因可能與灰分有關，而灰分的主要組成物質為 Na、K、Ca、Mg (Sistani & Novak 2006; Singh *et al*. 2010)，此為作物生長必須之鹽基離子。而稻殼材料本身不具木質素，僅具有纖維素、半纖維素、蛋白質及脂類有機碳等，經炭化過程所產生之鹼性，為原作物殘體中所含金屬元素之氧化物性質，一旦被溶解吸收後就無此特性，因此在土壤中皆無法長存。

在產量及品質方面，基肥階段不施有機肥，在含苞葉穗重及單軸穗重方面，以不施肥+菌液、½肥料用量+菌粉及不施肥+菌粉處理，比對照組有較佳之表現，其間雖無顯著差異，但卻可大量節省化學肥料施用。而在基肥階段施用稻殼灰炭處理之表現，均以½肥料用量+菌液及½肥料用量+菌粉處理顯著優於對照組。所有處理中以基肥階段施用稻殼灰炭½肥料用量+菌液表現最好，且在單軸穗重方面比不施有機肥之全量肥料用量處理提升了 13.5%，顯示酸性土壤中，適當配合土壤理化性質，改良土壤微環境，並配合溶磷菌使用等施肥管理措施，可有效提升玉米收穫產能，並可節省化學肥料施用量。但在可溶性固形物方面，各處理間與對照組差異並不顯著。

秋裡作整合性施肥應用，選擇鹼性土壤進行試驗，試驗前後各處理間土壤 pH 變化不大，均呈現弱鹼性，且在植體所需之微量要素 (Fe、Mn、Cu 及 Zn) 方面，試驗後土壤之含量，均有提升現象，主因為基肥階段，選擇施用動物下腳料發酵為主之高氮比例雜項堆肥，而對鹼性和石灰質土壤而言，可藉由酸性物質、有機質或堆肥以提升土壤磷有效性 (Alvarez et al. 2004)，並可改善微量元素有效性偏低的問題，其主要的機制是藉由增加土壤酸性，促進鈣-磷沉澱物的溶解度、溶解石灰物質或改變表面電荷 (Shuai & Zinati 2009)。秋裡作產量品質方面，含苞葉穗重及單軸穗重表現，均以⅔肥料+菌液及全量肥料+菌粉等 2 個處理，顯著優於全量肥料用量 (對照組) 之處理。但在可溶性固形物表現上，各處理間差異不顯著。由此顯示在鹼性土壤中，施用溶磷菌粉，可減少 1/3 化學肥料施用量，並提升玉米單軸穗重產能達 17.6%。

引用文獻

1. 古明萱 2007 作物田間技術。農業推廣手冊40。國立屏東科技大學農業推廣委員會。
2. 行政院農業委員會農糧署 2018 106年農業統計年報。台北。台灣。
3. 李银水、鲁剑巍、廖星、邹娟、李小坤、余常兵、马常宝、高祥照 2011 磷肥用量对油菜产量及磷素利用效率的影响。中国油料作物学报33 (1)：052-056
4. 黃惠琳 2016 臺灣硬質玉米栽培管理技術。臺南區農業改良場技術專刊105-2 (No.163)32pp.。
5. 郭魁士 1997 土壤學 (修訂八版)。中國書局印行。801 pp.。
6. Alvarez R., Evans L. A., Milham P. J. and M. A. Wilson. 2004. Effects of humic material on the precipitation of calcium phosphate. Geoderma, 118: 245-260.
7. Beauchemin S. and R. R. Simard. 2000. Phosphorous status of intensively cropped soils of the St. Lawrence lowlands. Soil Sci. Soc. Am. J., 64: 659-670.
8. Cox F. R. and S. E. Hendricks. 2000. Soil test phosphorous and clay content effects on runoff water quality. J. Environ. Qual., 29: 1582-1586.
9. Davis R. L., Zhang H., Schroder J. L., Wang J. J., Payton M. E. and A. Zazulak. 2005. Soil characteristics and phosphorous level effect on phosphorous loss in runoff. J. Environ. Qual., 34: 1640-1650.
10. Jalali M. and F. Ranjbar. 2010. Aging effects on phosphorous transformation rate and fractionation in some calcareous soils. Geoderma, 155: 101-106.
11. Reuss, J.O. and D. W. Johnson. 1986. Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters. Springer-Verlag New York. 59：26-31.
12. Ryan J., Hasan H. M., Baasiri M. and H. S. Tabbara. 1985. Availability and transformation of applied phosphorus in calcareous Lebanese soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:1215-1220.
13. Shuai X. and G. Zinati. 2009. Proton charge and adsorption on humic acid and phosphate on goethite. Soil Sci. Soc. Am. J., 73: 2013-2020.
14. Singh, B., B. P. Singh, and A. L. Cowie. 2010. Characterisation and evaluation of biochar for their application as a soil amendment. Soil Research 48(7): 516-525.
15. Sistani, K. R., and J. M. Novak. 2006. Trace metal accumulation, movement and remediation in soils receiving animal manure. In: Prasad, M. N., K. S. Sajwan, and R. Naidu (Eds.) Trace Elements in the Environment, Biogeochemistry, Biotechnology, and Bioremediation, Boca Raton: CRC Press, 689-706.

Applications of Phosphorus Solubilizing Bacteria in *Zea mays* Production

Yao-Tsung Chang[1*], Po-hsun Chang Liao[2], Chiung-hui Wang[3]

Summary

The purpose of this study was to evaluate the effects of corn fertilization and integrated fertilization on two commercially available phosphate solubilizing bacteria.

The fertilizer efficiency test showed that: The ear weight and uniaxial ear weight of maize were treated with 1⁄2 fertilization amount + sterilizing solution and 1⁄2 fertilization amount + bacterial liquid treatment, which was significantly higher than the recommended dosage of whole fertilizer. There was no significant difference between the treatments at °Brix. The integrated fertilization application showed that: Spring was tested in acidic soil, and no organic fertilizer treatment was applied. Only uniaxial ear weight 1⁄2 fertilizer recommended dosage + bacterial powder treatment, significantly better than the total amount of fertilizer recommended treatment. In the application of rice husk ash biochar in base fertilizer, the recommended dosage of ½ fertilizer + bacterial powder and bacterial liquid treatment, the weight of glutinous leaves and the weight of uniaxial ears were significantly better than the recommended dosage of whole fertilizer. Test for alkaline soil in autumn: In the weight of glutinous tassel and uniaxial

[*] Corresponding author, e-mail: ytc@mail.kdais.gov.tw

[1] Associate Researcher, Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, COA, Pingtung, Taiwan, ROC.

[2] Assistant Researcher, Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, COA, Pingtung, Taiwan, ROC.

[3] Research Assistant, Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, COA, Pingtung, Taiwan, ROC.

ear weight, it was treated with ⅔ fertilizer + bacterial liquid and full fertilizer + bacterial powder, which was significantly better than the control group. Performance at °Brix showed that: There was no significant difference between the two treatments in the treatments.

Key words: *Zea mays*, Phosphate-solubilizing bacteria, Produce.